

面向智能制造的工业无线通信网络优化方案研究

翟欣烨

北京汉维盛兴线缆科技有限公司, 北京市海淀区, 100086;

摘要: 为满足智能制造对无线网络的需求, 提出一种面向智能制造的工业无线通信网络优化方案, 对工业无线网络优化需求进行分析, 总结现有工业无线网络的瓶颈与挑战; 分析现有工业无线网络的典型应用场景; 构建面向智能制造的工业无线网络体系结构, 从总体架构设计、链路优化、频谱管理与信道管理、路由与数据传输、无线接入与资源分配、网络安全与可靠性增强等方面进行网络优化方案设计; 通过仿真实验分析和典型应用验证, 验证方案在提升工业无线通信性能方面的有效性; 提出一种智能化网络优化方案, 实现对工业无线网络的感知与智能优化。

关键词: 智能制造; 工业无线通信; 网络优化方案

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 10. 054

引言

随着信息化与工业化深度融合, 智能制造已成为制造业发展的必然趋势, 其对网络的实时性、可靠性、安全性提出了更高的要求, 以满足智能制造对无线网络的需求。无线通信网络作为工业企业生产控制系统与车间数据采集系统之间的纽带, 其性能直接影响着企业的生产效率和产品质量, 但目前工业无线通信网络在链路稳定性、频谱利用率、路由与数据传输等方面存在问题, 导致了无线通信网络的性能较低。本文针对智能制造对无线通信网络性能的需求, 提出一种面向智能制造的工业无线通信网络优化方案, 通过理论分析、仿真实验及应用验证等方式对方案进行验证与改进。

1 智能制造的概念与发展趋势

智能制造是以数字化、网络化、智能化为基础, 以信息技术为核心, 以产品智能制造为目标, 是以生产组织智能化和管理决策科学化特征的新型制造业^[1]。智能制造是制造业发展的必然趋势, 对工业企业生产效率和产品质量的提升具有重要作用, 其核心是通过技术创新来提高生产效率和产品质量。随着 5G、云计算、大数据、物联网等新一代信息技术与制造业的深度融合, 工业互联网成为智能制造的关键技术^[2]。为满足智能制造对网络的需求, 本文提出一种面向智能制造的工业无线通信网络优化方案, 旨在提高工业无线通信网络性能, 提升制造业生产效率。

2 工业无线通信网络体系结构

智能制造网络的目标是通过物联网技术将工业企业生产控制系统与车间数据采集系统紧密相连, 实现对车间生产过程的全面感知, 并对设备运行状态、故障信息及任务执行情况等进行实时采集, 从而实现对企生

产的全面管控。工业无线通信网络在智能制造中起着承上启下的作用, 是智能制造网络体系的关键组成部分。工业无线通信网络以无线传感器为基础, 通过无线射频信号和有线网络结合, 实现对车间设备及人员信息的实时感知。目前工业无线通信网络主要通过无线接入技术、路由技术、数据传输技术、频谱管理与信道管理等技术来满足智能制造对无线网络性能的需求^[2]。

3 优化需求与问题分析

3.1 智能制造对无线网络性能的需求分析

智能制造是以数字化、网络化、智能化为核心的新型生产方式, 其对网络通信的实时性、可靠性、安全性等方面提出了更高的要求, 并针对无线网络性能问题进行了优化。现有无线网络在链路稳定性、频谱利用率、路由与数据传输等方面存在不足, 无法满足智能制造对网络性能的需求。针对上述问题, 本文提出了一种面向智能制造的工业无线通信网络优化方案, 通过链路优化、频谱管理与信道管理、路由与数据传输等方面进行网络优化, 并在提高网络稳定性的同时, 增强网络安全性与可靠性, 以满足智能制造对无线通信网络性能的需求。

3.2 典型应用场景

无线传感网络。在工业制造领域, 无线传感网络是感知和采集数据的主要手段。其覆盖范围广、安装部署灵活、适用于不同场景, 可与企业现有通信网络相融合, 实现对生产设备、车间环境及人员的实时监测。工业无线通信网络主要应用于车间或现场级的工业控制领域, 包括自动化生产线的运行控制、设备故障诊断与预测、生产设备远程操控等。工业无线通信网络对实时性要求较高, 需满足生产现场实时可靠传输数据和控制指令的需求; 此外, 工业无线通信网络还需满足高可靠、低时

延的要求,以实现对现场生产数据的实时采集、传输和控制^[3]。

3.3 现有工业无线网络的瓶颈与挑战

(1) 由于工业场景的复杂性,现有的无线传感网络无法完全满足工业设备与应用对网络的实时、可靠和安全要求。(2) 现有的无线传感网络多采用 CSMA/CA 等信道共享技术,存在数据传输时延大、重传和丢包问题,难以满足工业场景对实时性和可靠性的需求。(3) 现有的无线传感网络中缺乏统一标准,无法满足工业数据采集与控制的一致性要求。(4) 现有的无线传感网络架构复杂、部署成本较高,难以适用于中小型制造业。(5) 工业无线通信网络中涉及大量异构设备和系统,如何实现高效、灵活的组网是其面临的挑战之一。

4 工业无线通信网络优化方案设计

4.1 总体优化架构设计

针对智能制造对无线通信网络的需求,提出一种面向智能制造的工业无线通信网络优化方案,主要包括工业无线网络总体架构设计、链路优化、频谱管理与信道管理、路由与数据传输、无线接入与资源分配、网络安全与可靠性增强等方面的优化,其中,链路优化主要包括链路带宽、时延等参数的优化,以保证工业无线通信网络的通信质量;频谱管理与信道管理主要对无线信道进行合理配置,以提高无线通信网络的吞吐量和传输效率;路由与数据传输主要对工业无线通信网络的性能进行分析,以提高工业无线通信网络的可靠性和安全性;安全与可靠性增强主要包括接入安全与用户认证^[4]。

4.2 网络拓扑优化

工业无线通信网络拓扑优化主要是通过调整网络结构,提高无线通信网络的通信质量,改善网络性能,提高设备的工作效率,降低设备成本。工业无线通信网络拓扑优化包括多跳中继、虚拟子网、分布式组网等多种形式。多跳中继通过利用中继器或中继器与基站之间的连接进行数据传输,保证数据在不同链路之间进行传输,从而实现数据在不同链路间的传输。虚拟子网是一种基于虚拟网络的组播技术,通过将网络节点划分成多个子网络进行组播通信,避免了重复路由和重复广播,可以有效减少路由开销。分布式组网是将工业无线通信网络中的各个节点组成一个独立的虚拟子网进行通信。

4.3 频谱与信道管理优化

工业无线通信网络频谱资源较为紧张,采用合理的信道分配策略,可以提高无线通信网络的容量,但也容易导致信道拥堵。因此,在无线通信网络中进行频谱管

理是十分重要的。在信道分配过程中,应该将多个网络进行合理地划分,避免相邻无线网络之间出现相互干扰的情况。此外,工业无线通信网络中还需要对信道进行实时监测与管理,及时调整网络参数以提高系统性能。因此,需要采用先进的频谱监测技术、信号处理技术、数字信号处理技术等手段来对无线通信网络的频谱与信道进行监测与管理。同时,在设计无线通信网络时应根据实际需求合理分配频谱资源。

4.4 路由与数据传输优化

针对无线通信网络中的路由和数据传输问题,本文提出了一种基于自适应动态规划算法的改进方案。该方法根据无线通信网络的拓扑结构和链路状态信息,综合考虑节点和链路的负载情况,利用蚁群算法对无线通信网络进行动态规划,使其能够动态调整路由选择策略,从而在保障系统可靠传输数据的同时,有效地降低了网络开销。此外,针对工业无线通信网络中存在的干扰问题,本文提出了一种基于频谱感知的干扰抑制算法。该算法通过对工业无线通信网络中的干扰信号进行实时监测,对干扰信号进行频谱感知与分类处理,进而在不影响数据传输效率的情况下,有效地降低了无线通信网络中的干扰^[5]。

4.5 无线接入与资源分配优化

针对无线通信网络中存在的接入冲突问题,本文提出了一种基于功率控制的无线接入与资源分配优化算法。该方法在信道利用率最大化的基础上,综合考虑节点和链路的负载情况,通过对节点和链路进行功率控制,实现了资源分配与接入冲突的有效解决。该算法通过利用主从协作方式,构建多跳中继网络模型,并利用多跳中继传输机制,在满足数据传输可靠性和时延要求的前提下,有效地降低了无线通信网络中存在的干扰。同时,该方法也有助于提高网络的负载均衡能力。

4.6 网络安全与可靠性增强

在无线通信网络的安全性方面,本文提出了一种基于多属性决策的工业无线网络安全防护方法。该方法综合考虑节点属性和链路属性,以最小化网络安全风险为目标,对安全属性进行优化,以降低攻击概率。同时,本文采用最大熵原理对通信链路的可靠性进行量化评估,并结合综合评价方法,最终给出了一个综合的可靠性评价结果。在网络可靠性增强方面,本文提出了一种基于故障树模型的可靠性评估方法。该方法首先将网络可靠性问题转换为故障树模型问题,然后对故障树进行分块处理,并结合最小割集理论计算出节点的可靠度。最后以节点的可靠度为依据,给出了无线通信网络的优

化方案。

5 关键技术与实现方法

5.1 边缘计算与雾计算辅助优化

边缘计算与雾计算辅助优化是以边缘计算、云服务为基础,通过在网络边缘部署云计算中心,提供可靠的网络服务,并根据用户需求将服务转移到云端,以满足用户对可靠性、实时性、安全性和移动性的需求。边缘计算与雾计算辅助优化是在无线网络中部署服务器,为终端用户提供分布式计算服务,它结合了边缘计算、云计算和雾计算的优势,是一种将信息处理从云端转移到终端设备的新型计算模式。边缘计算与雾计算辅助优化基于云计算技术和无线网络技术的融合,可以显著提升工业无线网络的性能,满足工业无线网络对可靠性、实时性和安全性等方面的需求。

5.2 网络切片与虚拟化技术在工业场景中的应用

工业无线网络中的网络切片与虚拟化技术主要用于提供满足不同场景需求的网络功能,是5G应用于工业场景的关键技术之一。它利用软件定义网络(SDN)将物理网络划分为不同的功能子网,通过软件定义网络技术实现对物理网络的灵活配置与管理,使得网络中的不同功能子网能够通过逻辑隔离或物理隔离等方式提供独立的服务。同时,虚拟技术能够在不改变物理网络拓扑结构的前提下,以软件可编程的方式动态划分出不同功能子网,满足不同应用场景对系统灵活性和可靠性的要求,也为工业无线网络提供了更大的可扩展性和灵活性。

5.3 协同通信与多路径传输技术

无线通信网络的节点覆盖范围大,传输路径短,多径效应显著,会影响无线网络的传输性能。因此,在智能制造场景中需要考虑利用多路径传输技术提高网络容量,减小传输时延,同时也需要利用协同通信技术来解决多径效应所带来的问题。协同通信是指在接收端和发送端之间建立信息交互渠道,通过信息交互来减小无线传输路径对信号传播的影响。在无线网络中,协同通信可以通过多个节点之间的协同来实现,这不仅可以减小传输路径的影响,同时也可以提高接收端的信号质量。在本研究中主要利用协同通信技术来解决无线网络中多径效应带来的问题。

5.4 自适应无线资源管理算法

在本研究中主要利用自适应无线资源管理算法来解决智能制造场景中无线网络的低速率、高干扰等问题。在智能制造场景中,无线通信网络需要考虑多个用户之

间的干扰、信号的衰落等问题,同时需要考虑网络资源的分配、共享和使用。针对不同用户的干扰情况,本研究利用自适应无线资源管理算法来实现在不影响用户体验的前提下降低干扰水平。由于智能制造场景中智能制造设备与用户之间存在一定的距离,在无线资源管理算法中,需要考虑如何降低传输时延和减少数据丢失等问题。此外,为了减小无线传输路径对信号质量的影响,在本研究中还需要考虑如何减少干扰、提高传输质量。

5.5 智能化网络优化

随着互联网和物联网技术的发展,智能化网络的概念也得到了提出。在本研究中,智能化网络的实现方法是利用深度学习和机器学习算法来完成。深度学习算法具有很强的学习能力,通过训练能够较好地解决实际问题。通过训练获得的神经网络对现实世界中存在的各种情况具有较强的处理能力,从而能够实现智能制造场景中无线通信网络的智能化优化。

6 结语

本文提出了一种面向智能制造的无线通信网络优化方案,该方案充分考虑了工业无线通信网络的特点,在物理层和MAC层上对各种无线资源进行了有效管理和优化,并利用自适应资源分配算法对无线通信网络进行了优化。该方案能够有效地解决工业无线通信网络中存在的各类问题,使得工业生产中的各种数据能够及时准确地传输到控制中心,从而实现了工业生产的智能化和自动化。本文的研究成果为智能制造场景中的工业无线通信网络优化提供了理论指导,对智能制造技术的进一步发展具有重要意义,同时也为我国制造业升级转型提供了理论支持。

参考文献

- [1]陈柳钦.人工智能驱动产业链现代化研究[J/OL].新疆社会科学,1-23[2025-09-03].
- [2]李燕乐,韩富桢,栾晓娜,等.机器人协同成形-增材复合制造实验教学平台设计[J/OL].实验技术与管理,2025,(08):173-179[2025-09-03].
- [3]杨刚,程晋炳,王银花.多学科交叉融合背景下研究生科研创新能力培养策略[J].南阳师范学院学报,2025,24(05):81-85.
- [4]付建林,张剑,杨大治,等.基于虚拟仿真的智能制造高等教育实践教育体系研究[J/OL].实验室研究与探索,1-6[2025-09-03].
- [5]刘晓华.“聪明”工厂进阶记[N].西安日报,2025-09-02(003).